

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

Konstrukční řešení modulu mobilního robotu pro  
přepravu transportních palet se zdvihacím  
mechanismem

The Mechanical Design of a Mobile Robot Module  
with a Lifting Mechanism for Transportation of  
Pallets

Student: Viktor Němec  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2014

## Zadání bakalářské práce

Student: **Viktor Němec**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: **Konstrukční řešení modulu mobilního robotu se zdvihacím mechanismem pro přepravu transportních palet**  
**The Mechanical Design of a Mobile Robot Module with a Lifting Mechanism for Transportation of Pallets**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši používaných systémů pro manipulaci s transportními paletami, které využívají zdvihacích mechanismů. Analyzujte možná principiální řešení umožňující zdvih palety.
2. Popište způsob naložení palety na přepravní modul mobilního robotického systému. Sepište omezující parametry pro modul mobilního robotického systému a specifikujte podrobný požadavkový list pro specifikovaný operační scénář systému.
3. Navrhněte varianty řešení manipulačního modulu se zdvihacím mechanismem v souladu se sestaveným požadavkovým listem. Proveďte vzájemné zhodnocení navržených variant na základě zvolených kritérií a vyberte z nich tu nejlepší.
4. Zvolenou variantu rozpracujte do úrovně podrobného 3D modelu s využitím zvoleného CAD systému. Výkresovou dokumentaci zpracujte v rozsahu určeném vedoucím práce. Navržené technické řešení doložte návrhovými a kontrolními výpočty.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.

SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Krys, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



---

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry

---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....

.....  
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:  
Adresa trvalého pobytu autora práce:

Viktor Němec  
Horní náměstí 69, 746 01  
OPAVA

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování panu Ing. Václavovi Krysovi, Ph.D. za cenné rady, podmětné připomínky, vstřícný přístup a morální podporu při zpracování bakalářské práce.

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Němec, V. *Konstrukční řešení modulu mobilního robotu pro přepravu transportních palet se zdvihacím mechanismem*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robototechniky, 2014, 46s., Vedoucí práce: Ing. Václav Krys, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá řešením modulu mobilního robotu pro přepravu transportních palet se zdvihacím zařízením. Na začátku práce bylo vytipováno několik výrobců podobných transportních zařízení, kteří působí na světovém trhu. Dále bylo nastíněno nejčastější řešení válečkových dopravníků, se schématickým návrhem dopravníku, pro který je robot konstruován. Z takto nasbíraných informací byl vytvořen požadavkový list, z něhož se vycházelo při navrhování variant řešení. Z variant byla vybrána jedna, která je dále zpracována až po 3D model, opírající se o průběžné výpočty.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

My bachelor thesis deals with the design of a mobile robot module with a lifting mechanism for transportation of pallets. In the first part of my work several manufacturers producing similar transporting devices and operating in the world markets were identified. Then the most frequent design of roller conveyors was outlined together with the schematic design of the conveyor, the robot was designed for. The gathered information was used to make a request list and this was the basis for suggesting the variants of solution. One variant was chosen and worked up into a 3D model, using preliminary calculation.

## Obsah

Seznam použitého označení .....	9
Úvod.....	11
1. Analýza dostupných technických prostředků.....	12
1.1. Kiva systems .....	12
1.2. Ceit sk s.r.o. ....	12
1.3. Bastian solutions .....	13
1.4. Ward system inc.....	14
1.5. Egemin automation .....	14
1.6. Mmpex systems .....	15
1.7. Advanced motion controls .....	16
Požadavkový list.....	17
1.8. Provedení palet .....	18
1.9. Provedení dopravníků .....	20
2. Navrhované koncepční řešení .....	21
2.1. Varianta 1.....	23
2.2. Varianta 2.....	24
2.3. Varianta 3.....	25
2.4. Varianta 4: .....	26
2.5. Výběr optimální varianty .....	27
3. Řešení vybrané varianty .....	28
3.1. Návrh zdvihacího rámu.....	28
3.1.1. Nosné vidlice.....	28
3.1.2. Zdvihací rám .....	28
3.1.3. Výpočet zrychlení a doby zdvihu:.....	29
3.1.4. Návrh lineárního vedení .....	30
3.2. Řešení zdvihacího mechanismu .....	33
3.3. Varianta A.....	33
3.4. Varianta B.....	34
3.5. Varianta C.....	36
3.6. Výběr varianty zdvihacího mechanismu.....	37
4. Návrh zdvihacího mechanismu .....	38
4.1. Návrh pohybového šroubu a matice .....	38
4.2. Návrh úhlové převodovky .....	40



4.3. Parametry pohonu .....	41
5. Závěr .....	42
6. Použitá literatura .....	43
7. Seznam příloh .....	44

## Seznam použitého označení

Značka	Veličina	Jednotka
$\alpha$	Úhel klínu	°
$\eta_2$	Účinnost úhlové převodovky	[-]
$\mu_{lin}$	Koeficient tření lineárního vedení	[-]
$C_0$	Statická únosnost lin. vedení	N
$C_{0sr}$	Statické zatížení kuličkového šroubu	N
$C_{dyn}$	Dynamická únosnost lin. vedení	N
$C_{dynsr}$	Dynamické zatížení kuličkového šroubu	N
$F$	Síla hnacího zařízení	N
$F_a$	Hybná síla	N
$F_G$	Gravitační složka zatížení	N
$F_h, f_t, f_w$	Faktor tvrdosti, teploty, zatížení pro lin. vedení	[-]
$F_{kl1}$	Síla potřebná k pohnutí jedním klínem	N
$F_{kmax}$	Maximální síla v pohybovém šroubu	N
$F_{zat}$	Síla zatěžující pohon	N
$L$	Výška kuličkové matice	mm
$L_h$	Životnost kuličkového šroubu v provozních hodinách	hod
$L_{hod}$	Doba životnosti lin. vedení v hodinách	hod
$L_{ot}$	Životnost kuličkového šroubu v otáčkách	hod
$M$	Hmotnost zdvihané hmoty	kg
$M_{hn1}$	Hnací moment pro kuličkový šroub	Nm
$M_{hn2}$	Hnací moment pro úhlovou převodovku	Nm
$M_X, M_Y, M_Z$	Momenty zatížení lin. vozíků	Nm
$M_{y1}, M_{y2}$	Momenty v podporách	Nm
$P$	Stoupání kuličkového šroubu	mm
$P_{lin}$	Statický ekvivalent zatížení lineárního vedení	[-]
$P_m$	Výkon pohonu úhlové převodovky	W
$R_A, R_B, R_C$	Reakce v podporách	N
$a / a'$	Zrychlení zdvihání / Zrychlení zdvihacího členu	m/s <sup>2s</sup>
$a_{kl}$	Zrychlení klínu	m/s <sup>2s</sup>
$d_k$	Malý průměr šroubu	mm
$d_s$	Velký průměr šroubu	mm
$f_{lin}$	Statický bezpečnostní faktor pro lin. vedení	[-]
$g$	Gravitační zrychlení	m/s <sup>2</sup>
$h_{v1}, h_{v2}, h_{v3}$	Vzdálenosti mezi podporami	m
$i_2$	Převodový poměr úhlové převodovky	[-]
$k_d, k_k$	Koeficienty uložení pro kuličkový šroub	[-]
$k_m$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$l$	Délka páky	M
$l_d$	Délka kuličkového šroubu	mm
$l_v$	Vzdálenost lin. vedení od těžiště	M

$m_{kl}$	Hmotnost klínu a kuličkové matice	Kg
$n_2$	Vstupní otáčky pro úhlovou převodovku	$\text{min}^{-1}$
$n_{\max}$	Maximální otáčky kuličkového šroubu	$\text{min}^{-1}$
$n_{\text{pr}}$	Provozní otáčky šroubu	$\text{min}^{-1}$
$s / s'$	Velikost zdvihu / Dráha zdvihacího členu	m
$t_{\text{roz}}, t_{\text{ust}}, t_{\text{celk}}$	Čas pro zrychlení, ustálený pohyb, celkový čas zdvihání	s
$v / v'$	Rychlost zvedání / Rychlost zdvihacího členu	m/s
$x_{\text{lin}}$	Počet lineárních vedení	[-]

## Úvod

Vysoká úroveň průmyslových robotů a dostupnost technologií dovolují stále častěji nasazovat roboty také v nestrojírenských oblastech v podobě servisních robotů, starajících se nejen o transport a skladování materiálu, ale také o diagnostiku, monitoring, údržbu čištění, vyhledávání, sběr informací atd.

I když se při pohledu na řešení AVG systému zdají být možnosti a nápady konstrukce vyčerpány stále jsou mezery, v nichž jsou nové systémy možné se uchytit. Před konkurencí budou mít vždy navrch univerzálnější systémy, které se sice svými parametry úplně nevyrovnají specializované konkurenci, ta je vhodná pro velkosériovou výrobu ale svou převážně nižší cenou a rozšířeností jsou zajímavým řešením pro mnohé zákazníky.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na část servisních robotů starajících se o transport normalizovaných palet CHEP, z důvodu variability a použitelnosti pro evropsky trh bude přihlíženo také k možnému použití euro palety.

## 1. Analýza dostupných technických prostředků

Vývojem a výrobou automaticky vedených vozíků (AVG) se zabývá v dnešní době velké množství zahraničních společností. Konstrukce AVG se ustálila na třech základních provedeních:

- Automaticky vedené paletovací vozíky
- Automaticky vedené tažné vozíky
- Automaticky vedené vozíky s horní nosnou plošinou (se zdvihacím zařízením nebo bez)

### 1.1. Kiva systems

Robotické vozíky jsou konstruované s horní nosnou plochou. K vozíkům se dodávají speciální regály a plošiny pro palety či jiné objekty. Vozík najede pod regál a zdvihne jej kousek nad zem, poté s ním odjíždí na určené místo. Robot je schopen otočit se pod regálem o 360°, toho využívá ke změně směru, kdy položí přepravovaný regál na zem, otočí se pod ním, zdvihne jej a pokračuje v cestě. (1)

Nosnost robotu je 1361kg (3000 liber), řízen je bezdrátovou sítí z nadřazeného hardwaru. K orientaci mu slouží řada senzorů v přední a zadní části, a čtvercová navigační mřížka na podlaze, položená při instalaci celého zařízení. Robot se pak pohybuje striktně po navigační mřížce. (1)



Obrázek 1. AVG vozík společnosti KIVA SYSTEMS (1)

### 1.2. Ceit sk s.r.o.

Společnost CEIT SK vytvořila robotický logistický systém v současné době již 3. generace určený pro automatický logistický tok materiálu při výrobě. Konstrukce je založena na automatickém tažném zařízení přepravující vagóny s materiálem. Maximální přípustná váha taženého nákladu je 3000kg. Maximální rychlost činí 2m/s. Samozřejmostí je dálkové řízení a monitorování, k orientaci v prostoru pak slouží magnetická páska na podlaze.(2)

„Tahače“ CEITruck se vyrábějí v několika velikostech:

Model	max. tažená zátěž/vezená zátěž	max. rychlost
• CEITruck 500A	500kg	2m/s
• CEITruck 1300A	1300kg	2m/s
• CEITruck 2000A	200kg	1m/s
• CEITruck 3000A	3000kg	1m/s

- CEITruck 800AF                      800kg / 500kg                      2m/s
- CEITruck 1300AF-BD              1300kg/1000kg                      1m/s



Obrázek 2. AVG vozík společnosti CEIT SK s.r.o. (2)

### 1.3. Bastian solutions

Jejich AVG systémy jsou řešeny jako automaticky vedené paletovací vozíky, tažné vozíky nebo vozíky s horní nosnou plošinou.(3)



Obrázek 3. AVG tažný vozík společnosti BASTIAN SOLUTIONS (3)



Obrázek 4. AVG paletovací vozík společnosti BASTIAN SOLUTIONS (3)



Obrázek 5. AVG vozík společnosti BASTIAN SOLUTIONS (3)

## 1.4. Ward system inc

Má v nabídce několik řízených vozíků konstruované jako automatické vozíky s horní nosnou plošinou. (4)



Obrázek 6. AVG vozík společnosti WARD SYSTEM INC (4)

## 1.5. Egemin automation

Tato firma nabízí několik automatických vozíků sloužících buď k pohybu materiálu na paletách, krabicích, tažných vozících, vozících na přepravu poštovních zásilek nebo např. rolí papíru (konstrukce paletovacího vozíku s přizpůsobenými vidlicemi). (5)



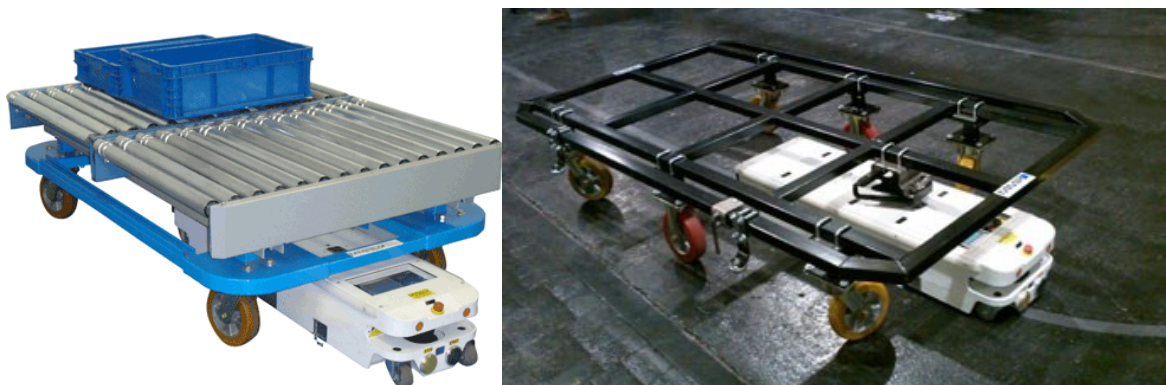
Obrázek 7. AVG vozíky společnosti E GEMIN AUTOMATION (5)



Obrázek 8. AVG vozíky společnosti E GEMIN AUTOMATION (5)

## 1.6. Mmpex systems

Malý automatický vozík zajíždějící pod jednoduché pojízdné konstrukce (vozíky), po zaháčení je odvléče na místo určení. (6)



Obrázek 9. AVG vozíky společnosti MMPEX SYSTEMS (6)



## 1.7. Advanced motion controls

Automatické mobilní vozíky s horní plošinou slouží k přesunu materiálu a obrobků během výroby.  
(7)



Obrázek 10. AVG vozík společnosti ADVANCED MOTION CONTROLS (7)



## Požadavkový list

Mobilní robot, jehož částí bude navrhovaný transportní modul by měl být schopen pracovat ve skladových a výrobních halách strojírenských a kovoobráběcích, elektrotechnických, chemických, farmaceutických a stavebních hmot. Dále z lehkého průmyslu to budou výroby např. potravinářské, nábytkářské, papírenské, atd.

Z toho plyne zajištění odolnosti robotu proti nepříznivým vlivům, jako jsou třísky, oleje, emulze, chemikálie, atp.

Paleta s objektem manipulace se bude odebírat z válečkového dopravníku z odběrného místa k tomu určenému. Vykládání palety bude probíhat opět na místě k tomu přizpůsobeném.

Jako přepravovaná paleta bude převážně brána americká paleta CHEP, popřípadě také americká US paleta nebo evropská EURO paleta.

Pro různorodost válečkových tratí bude robot navrhován na trať vysokou 900mm.

Parametr	Hodnota	Jednotka
<b>Nosnost</b>	1400	kg
<b>Výška dopravníku</b>	0,9	m
<b>Rychlost zvedání</b>	0.1	m/s
<b>Energie pohonu (v podvozku)</b>	Baterie 24V	

Tabulka 1. Požadavky na robota

## 1.8. Provedení palet

Přepravní palety nebo také palety, slouží k transportu stohovaného zboží. Využívají se zejména z důvodu využití ložné plochy, rychlosti manipulace a logistických úkonů s normovanou paletou, a k využití ložné plochy železničních vagonů, letadel, lodních kontejnerů a skladů.

Objekty na paletě je potřeba zajistit proti sklouznutí a převrnutí. Nejčastěji se tak děje strečovou fólií nebo kovovou či plastovou páskou.

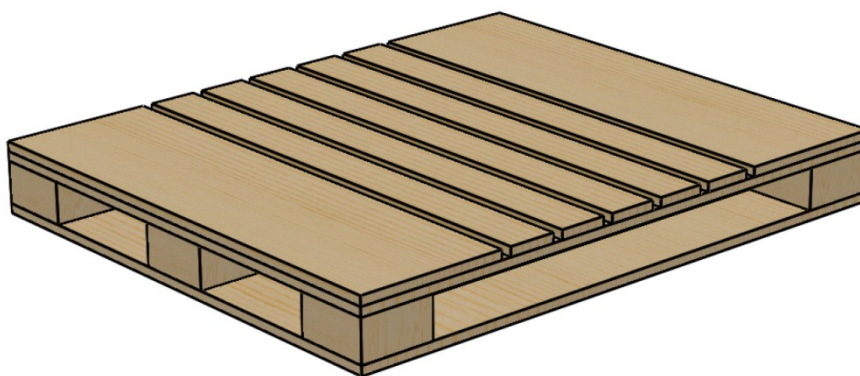
Důležité je také stohování palet na sebe, jak prázdných tak i naložených (některé typy lze stohovat naložené díky jejich konstrukci nebo s nadstavbou na palety).

Palety bývají vyrobeny z dřevěných desek, špalků, latěk a speciálních hřebíků. Na složení a zbití výsledné palety jsou normované postupy, díky nimž je zajištěna standardizace palet.

Palety bývají v provedení jednorázových a vratných. Vratné palety svým provedením a kvalitou zajišťují několikanásobné použití.

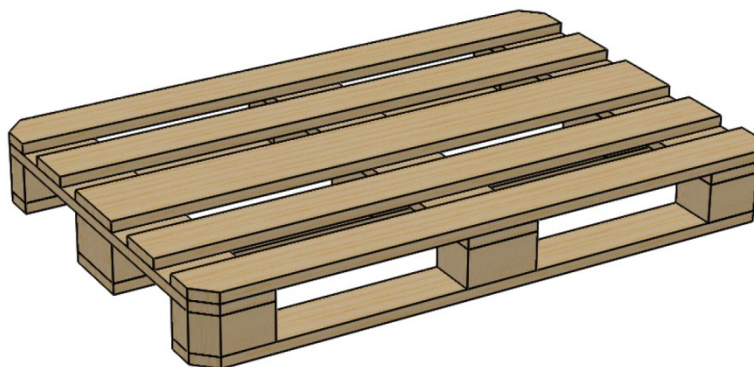
Materiály použité na výrobu palet bývají dřevo, plasty a ocel, popřípadě jejich kombinace.

Ve Spojených státech používané palety **CHEP** mají rozměry základny 1200x1000mm výšku 140mm. Jsou konstruované jako čtyřcestné, tzn. je možné je nabírat na vidlice zdviže ze čtyř stran. Při zvedání na vidlicích je nutné zajistit zasunutí vidlice po celé délce palety, aby bylo zajištěno podepření všech prken tvořících horní plochu palety a paleta se vinou nestejného rozložení nákladu nezničila. Zvedání a použití zvedacího zařízení trochu znesnadňují spodní desky podstavy, které jsou po všech čtyřech stranách.



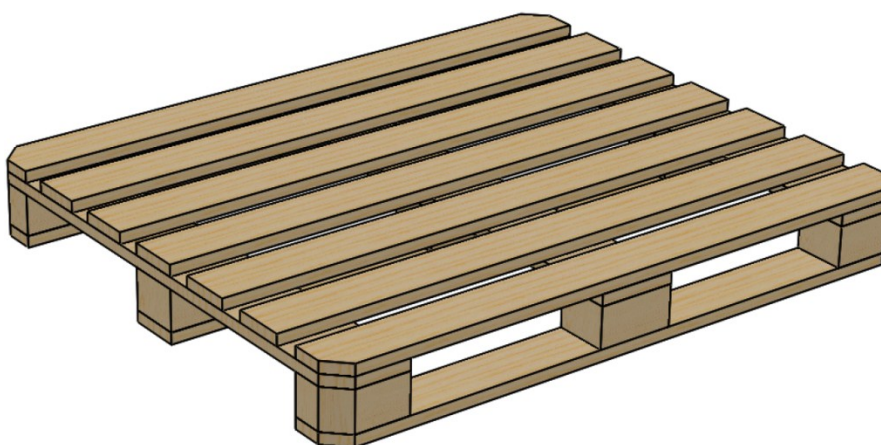
Obrázek 11. Paleta CHEP

V Evropě nejpoužívanější **EURO** palety s označením EUR nebo EPAL jsou vyráběny ve velikosti 1200x800mm a výškou 144mm. Svou konstrukcí jsou také čtyřcestné. Při zvedání je rovněž nutné, zajistit podepření všech horních prken, a nebo prken, kterými jsou svázány. Podstava palety je tvořena třemi prkny, rovnoběžnými s nejdelší stranou palety. Dvě krátké strany zůstávají volné, což zjednodušuje použití zvedacího zařízení.



Obrázek 12. Paleta EURO

Další variantou palety je paleta používaná ve Spojených státech tzv. **US paleta**. Je naprosto stejné konstrukce jako paleta EURO, jen s jinými rozměry. Její podstava je 1200x1000mm a výška 144mm.



Obrázek 13. Paleta US

Zvláště u produkce EUR palet je vyžadována i velká přesnost v rozměrech jednotlivých elementů a s jejich minim. tolerancemi. EUR paleta dle normy UIC Code 435-2 sestává z:

- 2 krajních přířezů (1200 x 100 x 22 mm)
- 1 středního přířezu (stejného rozměru)
- 2 mezipřířezů (1200 x 100 x 22 mm) ložné podlahy
- 3 svlaků (800 x 145 x 22 mm)
- 2 krajních a 1 středového přířezu opěrné podlahy (1200 x 100 x 22 mm)
- 9 špalíků (145 x 100 x 78 mm).

Tolerance rozměrů palety se připouští u délky a šířky -0/+3 mm, u tloušťky přířezů -0/+3 mm, u šíře přířezů -3/+3 mm a výšky špalíků -0/+1 mm.

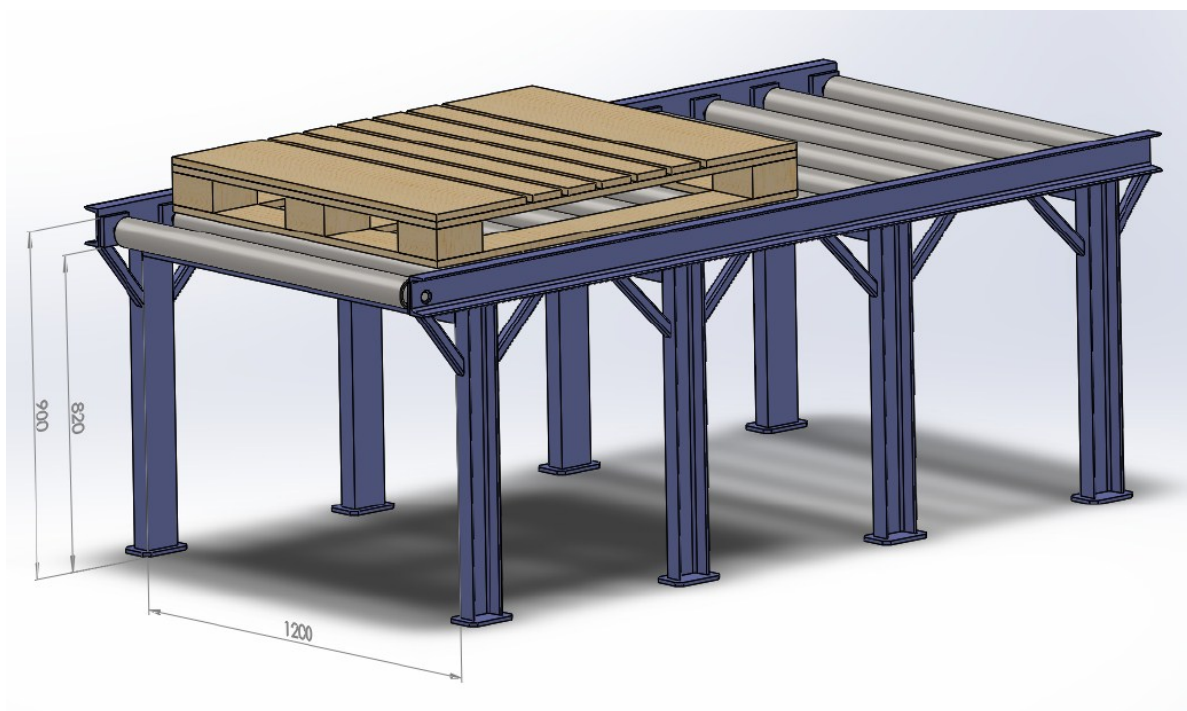
## 1.9. Provedení dopravníků

Dopravníky se používají k rychlé dopravě obrobků, materiálu a výrobků mezi jednotlivými operacemi nebo během skladování, překládky.

Dopravníky se v drtivé většině konstruuji jako nadúrovňové, nejčastěji ve výškách od 300-1200mm. Převážený objekt se na dopravnících pohybuji po válcích, pásech, řetězech a lamelách.

Válečkové dopravníky se často vyrábějí jako gravitační, kdy je objekt manipulace poháněn složkou síly vyvozenou z gravitační síly, nebo s pohonem, nejčastěji elektrickým. Pohony válečků bývají nejčastěji elektrické motory s vloženou převodovkou. Pohony jsou montovány buď na bočnice dopravníků, nebo jsou integrovány do tělesa válečků. Integrované pohony jsou výhodné svou kompaktností, účinností (až 98%) a nenáročností na okolní prostor. Jejich nevýhodou je max. výkon daný prostorem uvnitř válečků. (8) (9)

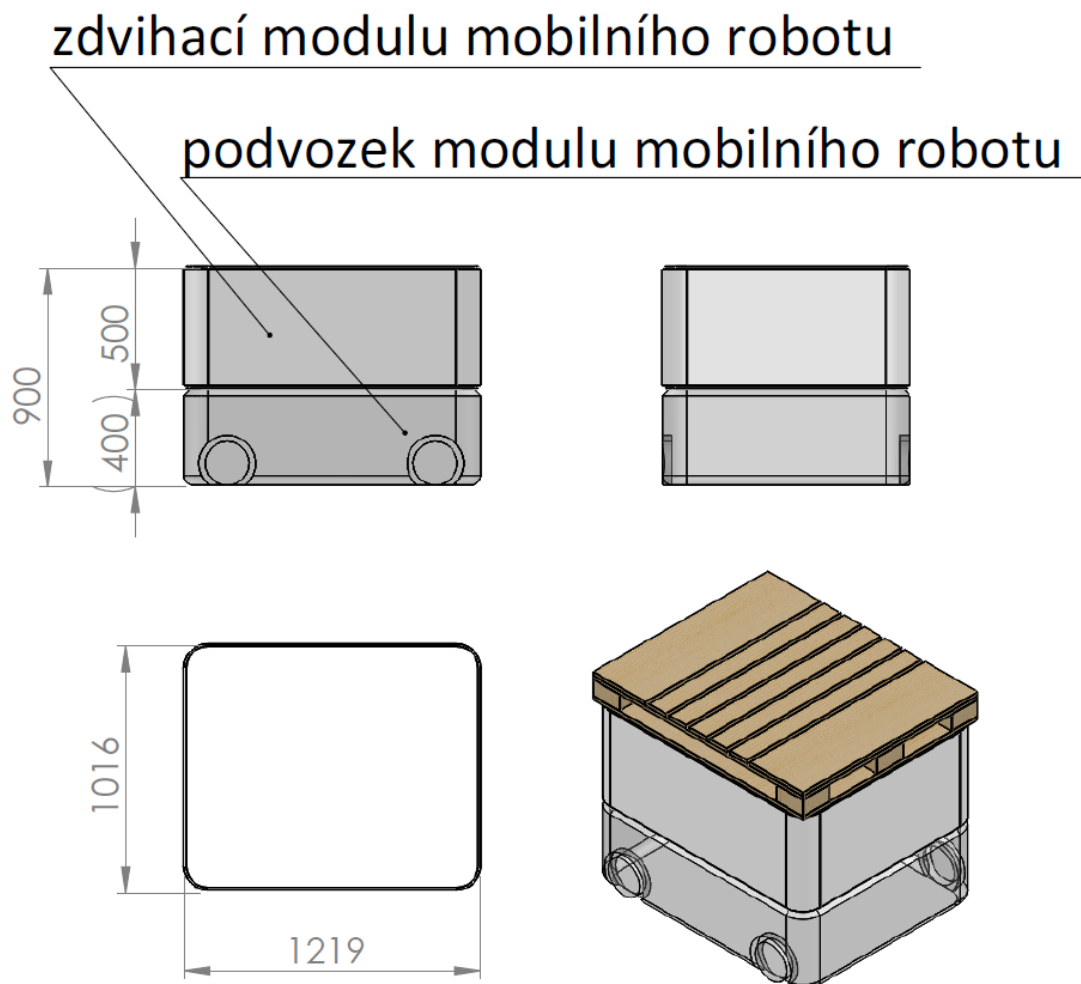
Pro úsporu počtu pohonů se hnací válce mezi sebou propojují do jednotlivých sekcí s jedním společným pohonem. Přenos krouticího momentu mezi motorem a válci se realizuje nejčastěji tečným řemenem, tečným řetězem, řetězovými smyčkami, kruhovými řemínky nebo řemeny.



Obrázek 14. Ukázka válečkového dopravníku s výškou 900mm

## 2. Navrhované koncepční řešení

Z rozměrového výkresu je předběžně patrné jak velký může být modul. Při návrhu rozměru se jako půdorysná plocha určila plocha překrývající paleta CHEP, výška robotu 900 se rozdělila na 400mm pro podvozek a 500mm na nosnou část a zdvihací zařízení.



Obrázek 15. Rozměrový návrh robotu

### *Modul musí obsahovat:*

- Nosný rám
- Zdvihací zařízení
- Pohon zdvihacího zařízení na 24V
- Dosedací plochy pro paletu
- Zajištění palety proti sklouznutí
- Silový a signální konektor pro propojení modulu s podvozkem

### *Dosedací plochy pro paletu*

První otázkou je, jak vyřešit odběr palety z válečkového dopravníku. Paletu CHEP ležící na dopravníku není možno odebrat vyždvižením za desky tvořící horní plochu (zespodu jsou přístupné jen vnitřní desky horní plochy). Pokud by objekt manipulace nebyl rovnoměrně rozložený, mohlo by dojít k naklonění objektu manipulace vlivem nepodepření všech prken palety, čímž by došlo k její destrukci. Je jasné, že paletu nelze podebrat v místech, která leží na válcích.

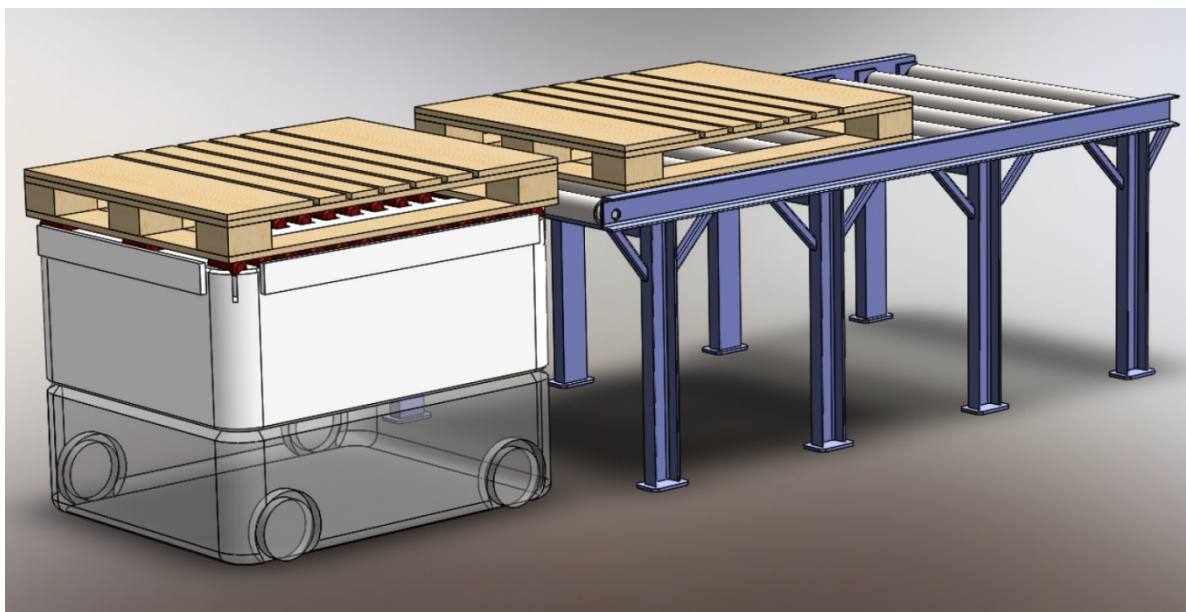
Řešením by mohlo být použití vidlic nebo osazení modulu robota válci, po kterých by se paleta přesunula z válečkového dopravníku na modul mobilního robota. Válečky by se poté spustily dolů, mohly by zajet pod horní okraj robota a tím by se paleta položila na horní pevnou nosnou plochu. Kolem horní části robota by mohl být lem tvořící bariéru, díky níž by paleta při přepravě nesklouzla na zem. Je nutné však zajistit pohon válečků na robota, k zasunutí palety zpět na válečkový dopravník.

#### *Pohon zdvihacího zařízení*

K pohonu zdvihacího zařízení bude sloužit elektromotor. Přenos otáčivého pohybu elektromotoru na posuvný vratný zdvihacího zařízení je možno provést:

- Pohybovým šroubem
  - s přepákováním
  - bez přepákováním
- Hydrogenerátor -hydromotor
  - s přepákováním
  - bez přepákováním
- Kompresor - membránový pneumotor

Výběr vhodného pohonu bude záležet na konstrukci zdvihacího zařízení a rozměrové dostupnosti modulu.



**Obrázek 16. Manipulační robot s dopravníkem**



## 2.1. Varianta 1

Na horní ploše robotu jsou svisle se pohybující otočné válce. Po zastavení robotu u dopravníkového pásu a vyjetí válců vzhůru na úroveň válců válečkového dopravníku se postupně paleta přesune na válcích na robot. Poté válce na robotu zajedou pod úroveň horní plochy robotu. Paleta je proti sklouznutí při přepravě jištěna zvýšeným okrajem na robotu.

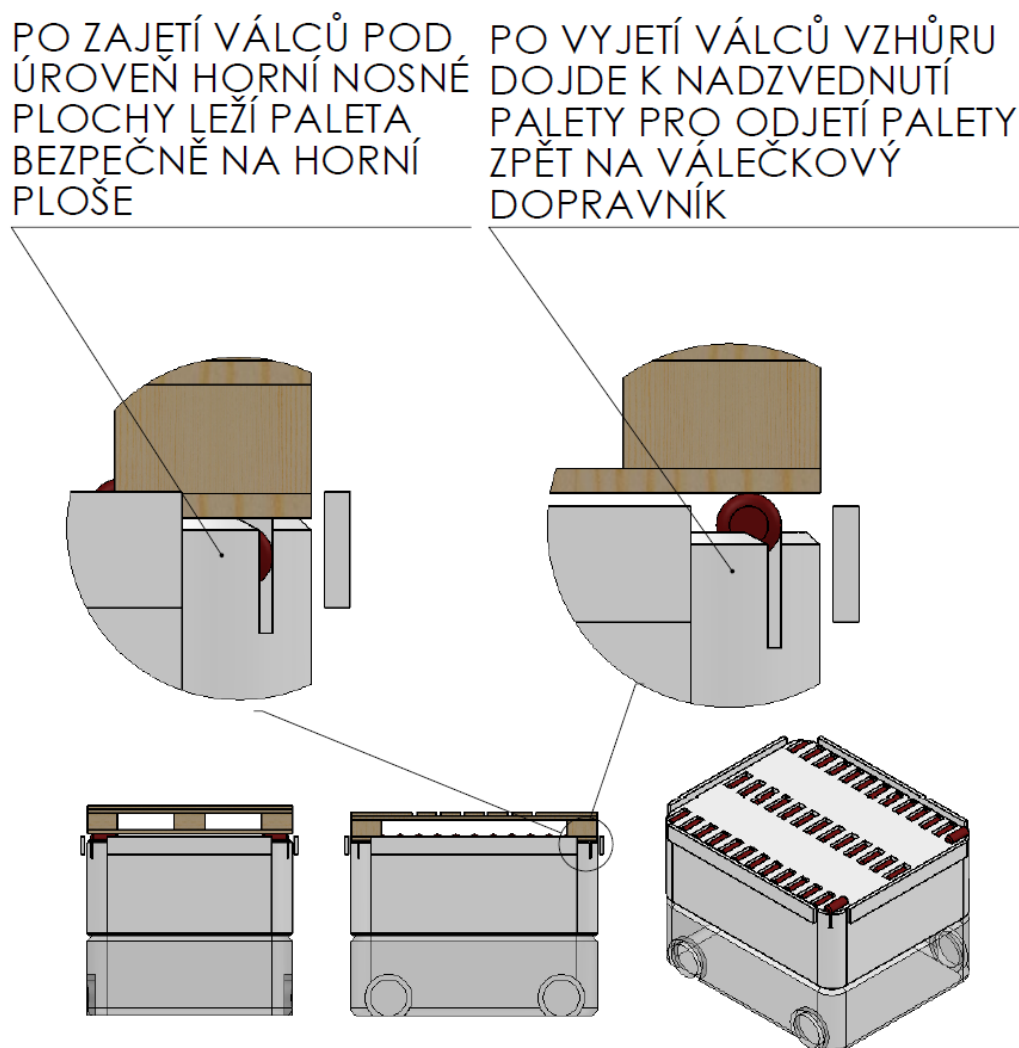
Válce na robotu musejí brzdit paletu současně s válci na válečkovém dopravníku. Válce by byly umístěny na rámu, který by se zvedal nahoru a dolů, s pomocí hydraulických válců nebo pohybových šroubů.

*Výhody:*

- Při poruše robotu je možné paletu odebrat vysokozdvizným vozíkem – výška zvýšeného okraje to bude umožňovat nebo v něm budou otvory na vidlici zdviže.

*Nevýhody:*

- Nutnost dvou pohonů, jeden na zdvihání válců a jeden k jejich otáčivému pohonu k přesouvání palety.
- Synchronizace rychlosti a brzdění pohonu palety s válečkovým dopravníkem.



Obrázek 17. Varianta robotu s válci

## 2.2. Varianta 2

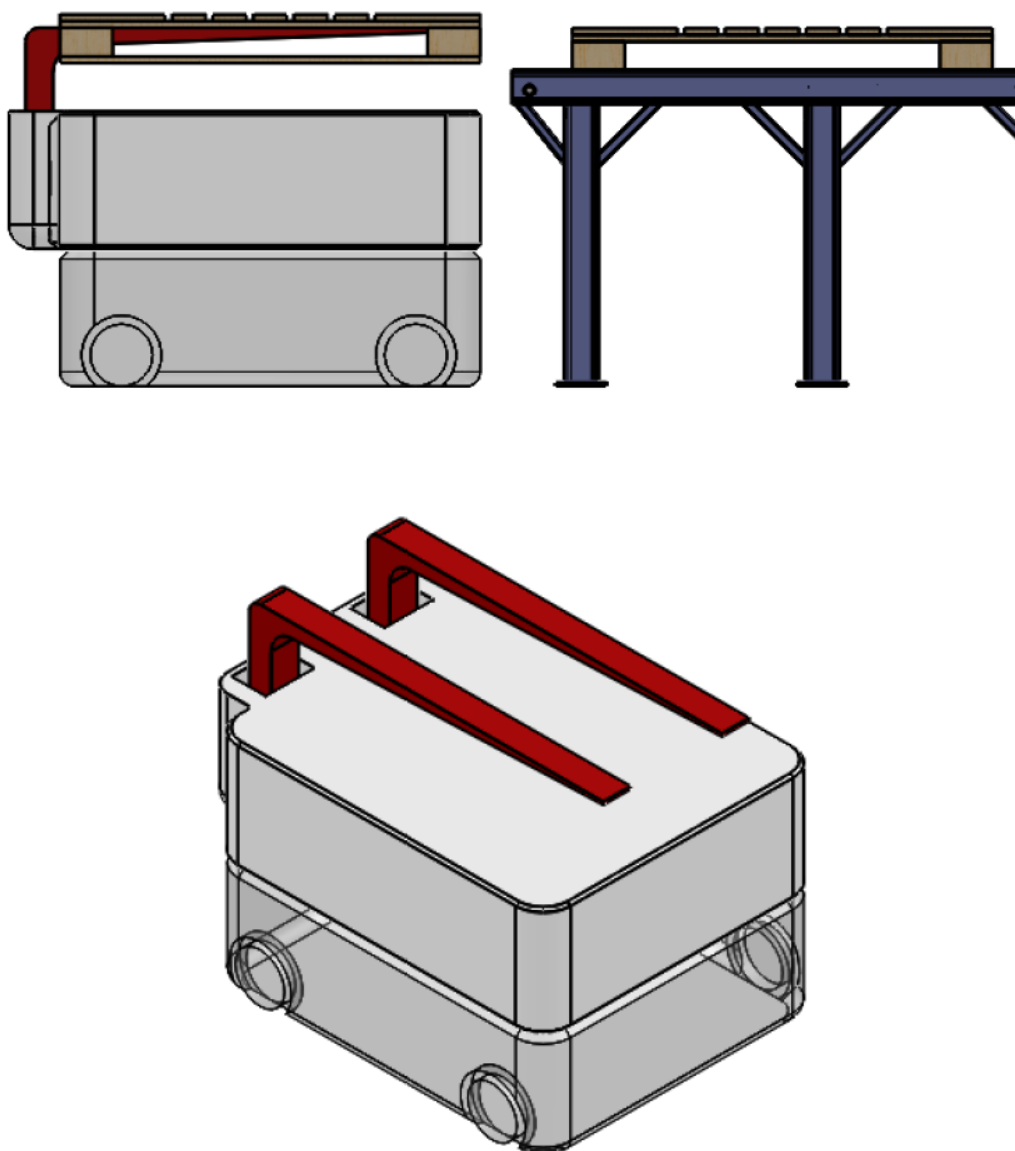
Robot je vybaven klasickými vidlicemi k odběru palet. Zdvihací zařízení může být umístěno na boku robotu, čímž se zvětší půdorysné rozměry robotu nebo bude na jeho horní ploše. Pohon vidlic by byl buďto hydraulický nebo s elektromotorem a pohybovým šroubem. Vedení vidlic by bylo zajištěno tyčemi v kluzných pouzdrech, byly by opatřeny válečky, které by jezdily ve vhodném vedení, nebo by bylo využito komerčně vyráběného lineárního vedení. Při přepravě by paleta ležela na horní ploše robotu, jištěná proti skluzu opět zvýšeným okrajem.

*Výhody:*

- Vyzkoušený systém odběru palet.
- Není potřeba složitě měnit válečkový dopravník.

*Nevýhody:*

- Při poruše robotu složité odebrání palety jiným zařízením z důvodu překážení vidlic robotu.



Obrázek 18. Varianta robotu s vidlicemi



### 2.3. Varianta 3

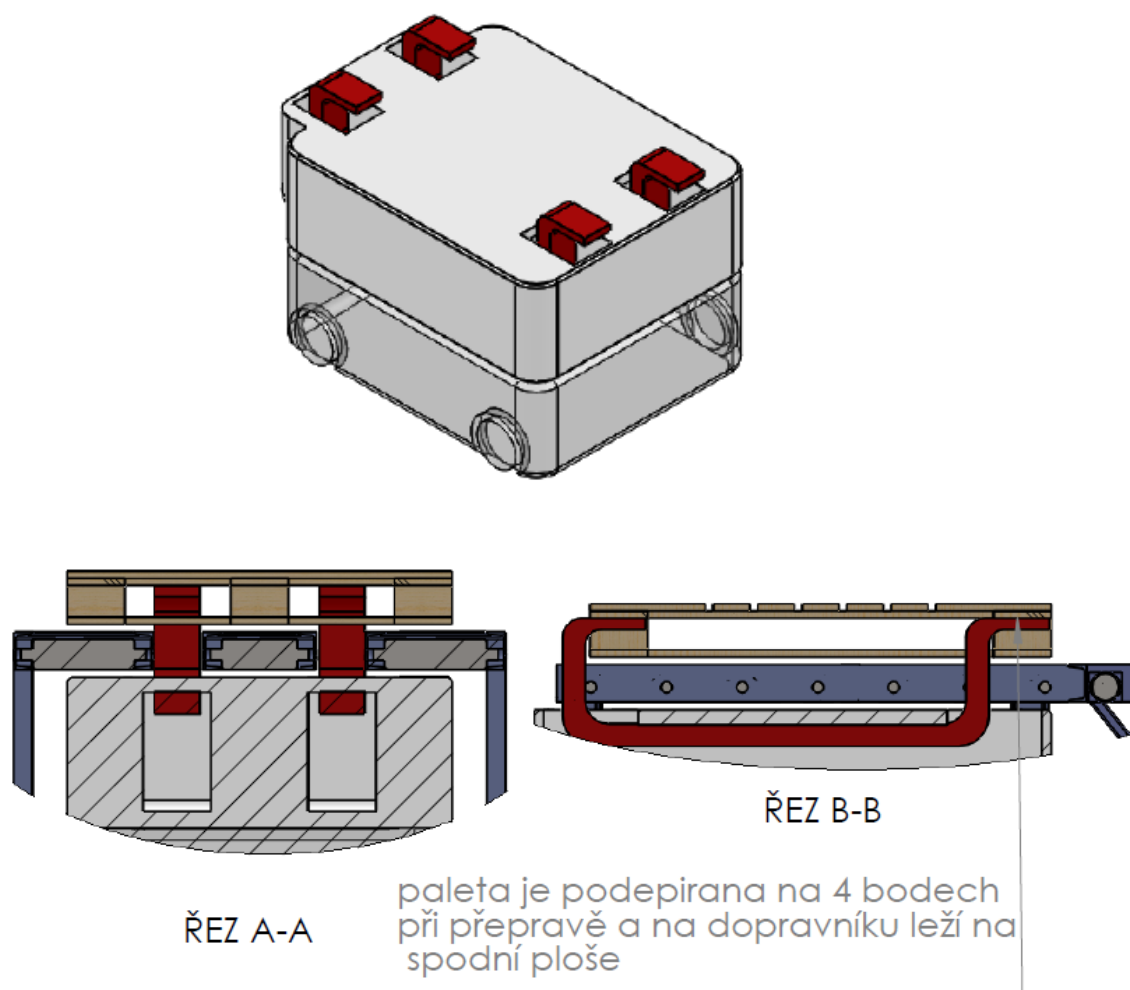
Robot je opatřen jakousi vidlicí, která je však dělená tak, že paletu podepírá celkem na 4 místech, vepředu a vzadu – vlevo a vpravo. Při odběru palety robot zajede pod paletu a válečkový dopravník, ne však až nakonec palety. Vidlice vyjedou nad úroveň válců dopravníku a spodních desek palety. Poté robot popojede, aby se vidlice zasunuly pod horní desky, a zdvihne paletu vzhůru. Nakonec i s paletou vyjede – válečkový dopravník musí mít válce dělené tak, aby umožnily vyjetí zdvižené palety. Při přepravě by paleta ležela na horní ploše robotu, jištěná proti skluzu opět zvýšeným okrajem.

*Výhody:*

- Menší průhyb vidlice (lehčí vidlice)
- Paleta ještě stále leží bezpečně na válečkové trati oproti variantě 4

*Nevýhody:*

- Složitě odebrání palet
- Složitá úprava dopravníkového pásu



Obrázek 19. Varianta robotu s dělenou vidlicí

## 2.4. Varianta 4:

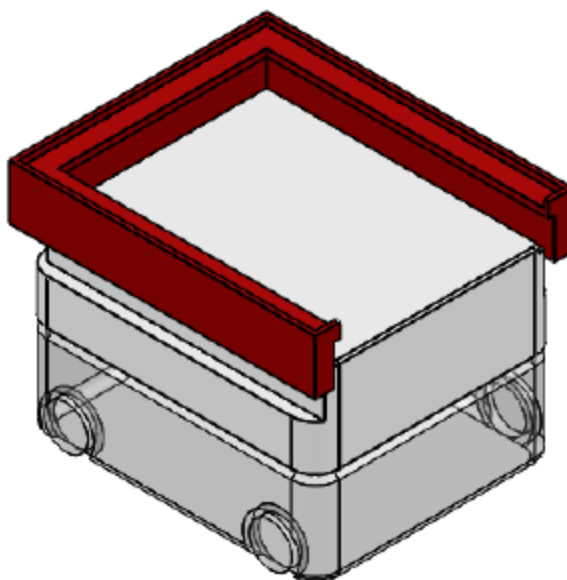
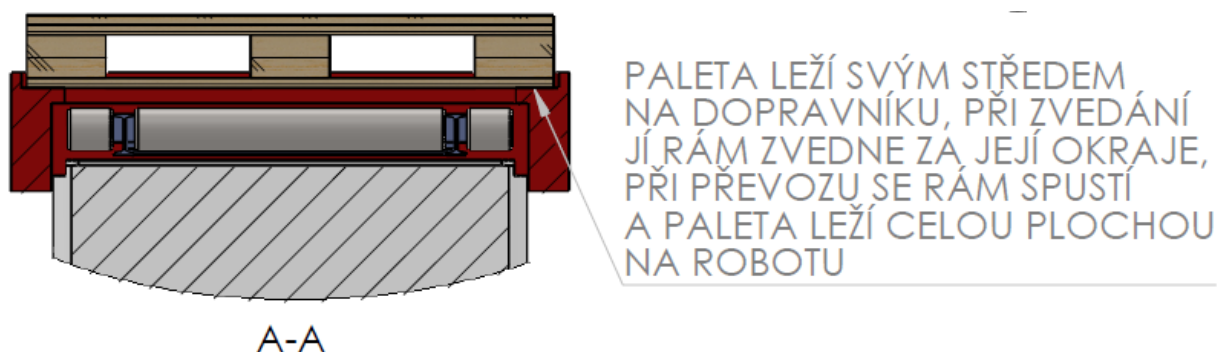
Robot je opatřen po obvodu jakousi ohrádkou, která má zvýšené okraje a paleta leží na ohrádce, jištěná vyvýšenými okraji. Robot zajede pod dopravníkový pás a zdvihne paletu vzhůru, poté s ní vyjede. Paleta na ohrádce leží po obvodu jen na polovině šířky spodních desek palety.

*Výhody:*

- Podpírání palety kolem celého obvodu

*Nevýhody:*

- Složitě odebrání palet
- Velmi složitá úprava dopravníkového pásu
- Paleta nedrží bezpečně na celé spodní ploše jak na robotu tak na dopravníkovém pásu



Obrázek 20. Varianta robotu se zvedacím rámem

## 2.5. Výběr optimální varianty

Jednotlivé parametry jsou bodovány body s hodnotou 1 – 5, nakonec jsou jednotlivé body sečteny a varianta s nejvyšším počtem bodů bude dále zpracována.

Parametr	Varianta 1.	Varianta 2.	Varianta 3.	Varianta 4.
<b>Rozměry ( š , v , d )</b>	5	1	2	4
<b>Hmotnost</b>	5	4	3	4
<b>Výška zdvihu palety</b>	1	5	5	5
<b>Rychlost zdvihu palety</b>	5	4	4	3
<b>Výrobní složitost</b>	4	5	3	3
<b>Spolehlivost</b>	4	4	4	5
<b>Složitost úpravy dopravníku</b>	5	4	1	2
<b>Univerzálnost</b>	3	4	2	3
<b>Variabilita</b>	3	5	3	4
<b>SOUČET</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>27</b>	<b>33</b>

Tabulka 2. Hodnocení navrhnutých variant

Při výběru optimální varianty byl kladen důraz na univerzálnost systému, co nejmenší nároky na úpravu odběrného místa válečkového dopravníku a malou spotřebu elektrické energie z akumulátorů vestavěných do podvozku robotu.

Z těchto důvodů byla vybrána varianta č. 2. Od varianty č. 1 bylo upuštěno také pro složité sladění rychlosti hnacích válců při sjíždění palety z dopravníku na robot a naopak.

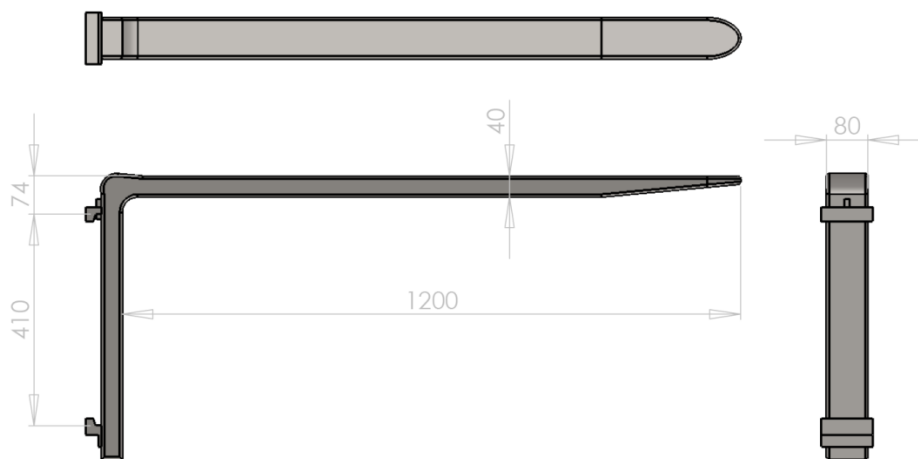
### 3. Řešení vybrané varianty

Zdvhání palet bude realizováno vidlicemi připevněnými ke zdvihacímu rámu. Vedení svislého pohybu zdvihacího rámu bude realizováno lineárním vedením s vozíky. Celý zdvihací mechanismus bude s podvozkem propojen přes nosný rám, na kterém bude umístěn také pohon ke zdvihání vidlic.

#### 3.1. Návrh zdvihacího rámu

##### 3.1.1. Nosné vidlice

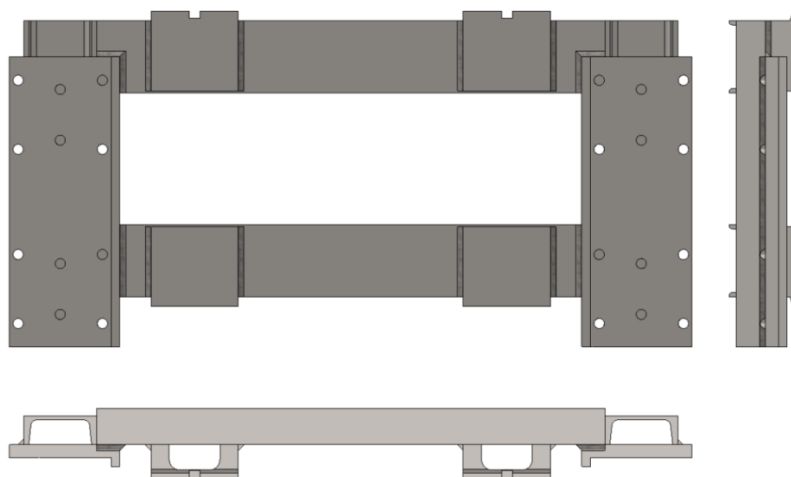
Jako nosné vidlice k vybrané variantě jsou použity standartní nosné vidlice pro vysokozdvizné vozíky. Ze zadaného zatížení **1400kg** a rozměru palety CHEP byly vybrány vidlice **80x40x1200 2A SASPARTS ISO2A obrácená**, nosnost **2000 kg**. Vidlice bude standartním způsobem připevněna na desky zdvihací konstrukce. Proti pohybu jsou vidlice jištěny čepem na horním závěsu vidlice, který zapadá do drážky v desce zdvihacího rámu. Váha jedné vidlice je **42,63kg**.



Obrázek 21. Nosná vidlice 80x40x1200 2A SASPARTS ISO2A

##### 3.1.2. Zdvihací rám

Zdvihací rám je svařen z profilu tvaru U 100x10. Vozíky jsou přišroubovány na desky přivařené ke zdvihacímu rámu.



Obrázek 22. Svarek zdvihacího rámu

### 3.1.3. Výpočet zrychlení a doby zdvihu:

Dráha zvedání je pomyslně rozdělena na 20% rozběhu, 60% ustáleného zvedání rychlosti  $v=0,1\text{m/s}$  a 20% brzdné dráhy.



**zrychlení**

20%

0,01m

**ustálený zdvih**

60%

0,03m

**brzdění**

20%

0,01m

Zrychlení OM při zvedání:

$$a = \frac{v^2}{2 * s * 20\%} = \frac{0,1^2}{2 * 0,05 * 20\%} = \underline{0,5 \frac{m}{s^2}} \quad (1)$$

Čas potřebný pro zrychlení a zpomalení:

$$t_{roz} = \sqrt{\frac{2 * s * 20\%}{a}} = \sqrt{\frac{2 * 0,05 * 20\%}{0,5}} = \underline{0,2s} \quad (2)$$

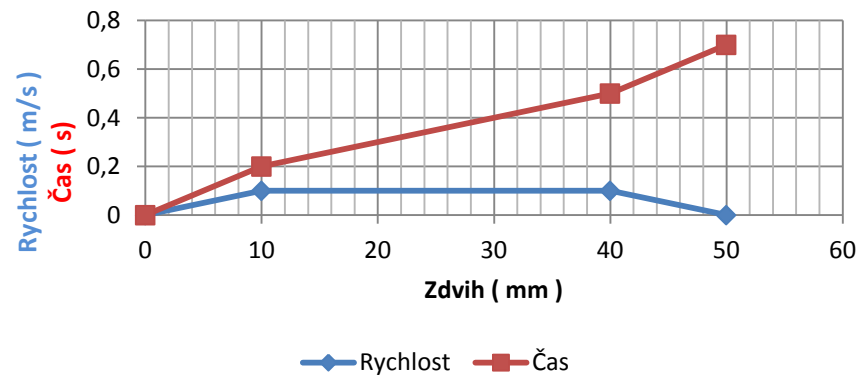
Doba ustáleného chodu:

$$t_{ust} = \frac{s * 60\%}{v} = \frac{0,05 * 60\%}{0,1} = \underline{0,3s} \quad (3)$$

Celková doba jednoho zdvihu / spuštění palety :

$$t_{celk} = 2 * t_{roz} + t_{ust} = 2 * 0,2 + 0,3 = \underline{0,7s} \quad (4)$$

### Graf závislosti zdvih/rychlost a zdvih/čas

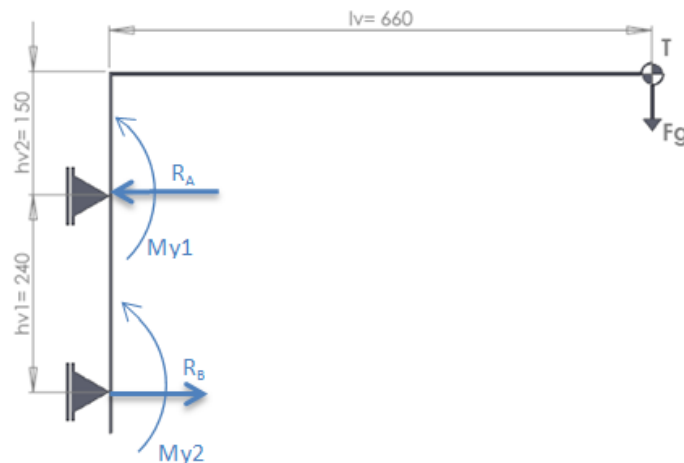


#### 3.1.4.Návrh lineárního vedení

K návrhu lineárního vedení a jeho vozíků je potřeba určit jejich zatížení. Díky svislému uložení lineárního vedení jsou vozíky namáhány klopným momentem  $M_{y1}$  a  $M_{y2}$  od tíhy OM, váhy vidlic a hybnou silou při brzdění respektive zrychlení, kontrola bude provedena na moment  $M_{y1}$ . Dále je spodní vozík namáhán tahovou silou vyvolávající reakci  $R_B$ , horní vozík tlakovou silou vyvolávající reakci  $R_A$ .

Z 3D modelu zahrnujícího svarek, vidlice, paletu a OM bylo určeno těžiště k výpočtu působících sil.

- Hmotnost zdvihané zátěže  $m = 1650 \text{ kg}$
- Zrychlení / zpomalení  $a = 0,5 \text{ m/s}^2$
- Koeficient bezpečnosti  $k_m = 1,3 [-]$
- Počet lineárních os  $x_{lin} = 2 [-]$



Obrázek 23. Zatížení lineárních vozíků

$$F_g = m * g \quad (5)$$

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow R_C = R_A \quad (6)$$

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow (F_g + m * a) * l_v = R_A * h_{v1} + R_B * h_{v1} \quad (7)$$

$$R_A + R_B = \frac{m * (g + a) * l_v}{h_{v1}} = \frac{1650 * (9,81 + 0,5) * 0,66}{0,24} = \underline{46\,781,625N}$$

$$R_A = R_B = \frac{46\,781,625}{2} = \underline{23\,390,8N}$$

Protože jsou použity dvě lineární vedení výsledné reakce vydělíme 2.

$$R_A = R_B = \frac{R_A}{2} = \frac{23\,390,8}{2} = \underline{11\,695,4N} \quad (8)$$

Klopný moment:

$$M_{y1} = \frac{m * (g + a) * l_v}{x_{lin}} = \frac{1650 * (9,81 + 0,5) * 0,66}{2} = \underline{5\,613,795Nm} \quad (9)$$

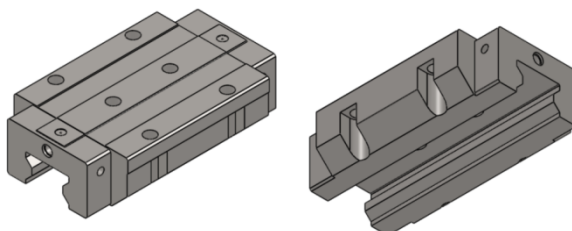
Navýšení o koeficient bezpečnosti:

$$R_A = R_A * k_m = 11\,695,4 * 1,3 = \underline{15\,204,02N}$$

$$R_B = R_B * k_m = 11\,695,4 * 1,3 = \underline{15\,204,02N}$$

$$M_{y1} = M_{y1} * k_m = 5\,613,795 * 1,3 = \underline{7\,298Nm}$$

Z vypočteného zatížení byly vybrány válečkové vozíky **RGW 55HC** fy. HIWIN. Kontrolní výpočty jsou provedeny dle katalogu výrobce. [12]



Obrázek 24. vozík RGW 55HC fy. HIWIN

Válečkové lineární vedení RGW 55HC		
<b>Dynamické zatížení</b>	$C_{dyn}$	167 800 N
<b>Statické zatížení</b>	$C_0$	348 000 N
<b>Statický moment</b>	$M_x$	11 150 Nm
<b>Statický moment</b>	$M_y$	10 250 Nm
<b>Statický moment</b>	$M_z$	10 250 Nm

Tabulka 3. Parametry lineárního vedení

Statická únosnost :

$$C_0 > R_A \Rightarrow 348\,000 > 15\,204,02 \quad \text{VYHOVUJE} \quad (10)$$

$$C_0 > R_B \Rightarrow 348\,000 > 15\,204,02 \quad \text{VYHOVUJE} \quad (11)$$

Statické ekvivalentní zatížení:

- Statický bezpečnostní faktor  $f_{lin} = 2[-]$

$$P_{lin} = \frac{C_0}{f_{lin}} = \frac{348\,000}{2} = 174\,000 \quad (12)$$

Nominální životnost:

- Faktor tvrdosti  $f_h = 0,90[-]$
- Faktor teploty  $f_t = 1,00[-]$
- Faktor zatížení  $f_w = 1,10[-]$

$$L = \left( \frac{f_h * f_t * C_{dyn}}{f_w * P_{lin}} \right)^{\frac{10}{3}} * 100\,000 = \left( \frac{0,9 * 1 * 167\,800}{1,1 * 174\,000} \right)^{\frac{10}{3}} * 100\,000 = \underline{45\,391,5m} \quad (13)$$

Doba životnosti v hodinách:

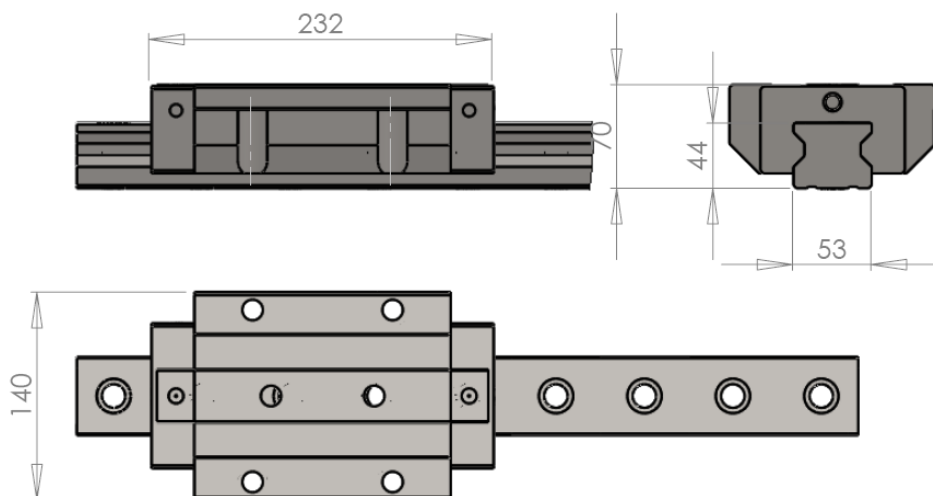
- Rychlost zvedání  $v = 0,1m/s = 6m/min$

$$L_{hod} = L * \frac{100\,000}{v * 60} = 4\,5391,5 * \frac{100\,000}{6 * 60} = \underline{12\,608\,766,66h} \quad (14)$$

Třecí odpor:

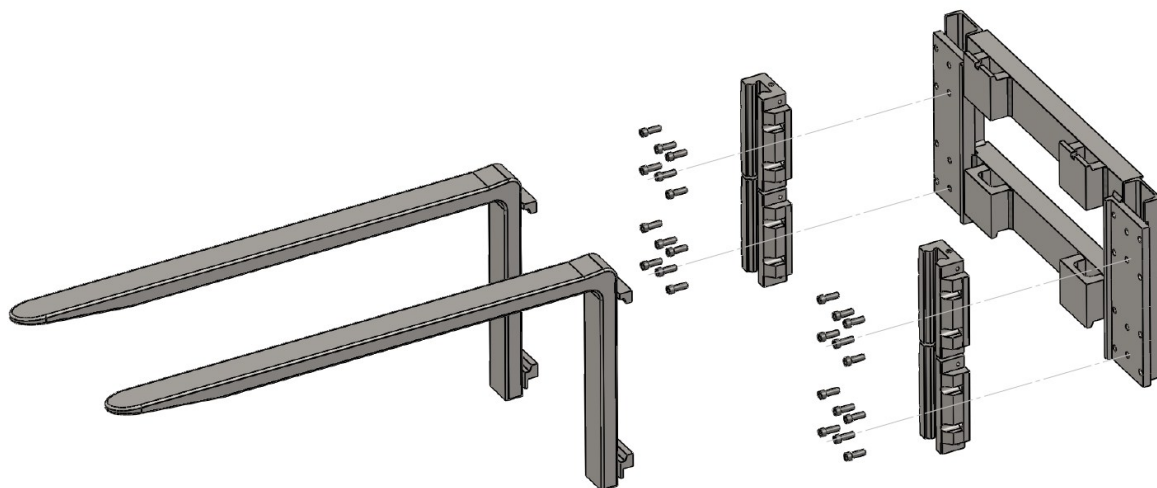
- Koeficient tření  $\mu_{lin} = 0,004[-]$

$$F_t = \mu_{lin} * R_{A,B} = 0,004 * 15\,204,02 = \underline{60,816N} \quad (15)$$



Obrázek 25. Vnější rozměry vozíku RGW 55HC





Obrázek 26. Způsob montáže vozíku a vidlic na zdvihací rám

### 3.2. Řešení zdvihacího mechanismu

Pro všechny varianty je společné zatížení  $F_{zat}$  skládající se z tíhové síly  $F_g$  (od hmotnosti vidlic, hmotnosti zdvihacího rámu, palety a hmotnosti OM), hybné síly  $F_a$  při brzdění a třecí síly lineárních vozíků vzniklé klopným momentem tíhové síly OM s paletou a vidlicemi.

- Hmotnost zdvihané zátěže  $m = 1650 \text{ kg}$
- Zrychlení / zpomalení  $a = 0,5 \text{ m/s}^2$
- Koeficient bezpečnosti  $k_m = 1,3 [-]$
- Třecí odpor lin. vozíků  $F_t = 60,81 \text{ N}$

$$F_a = a * m = 0,5 * 1650 = \underline{825 \text{ N}} \quad (16)$$

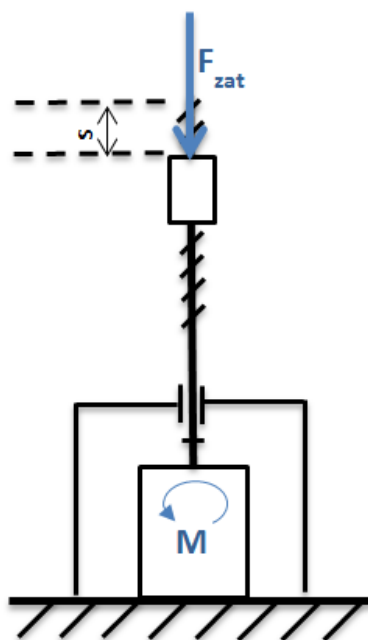
$$F_g = m * g = 1650 * 9,81 = \underline{16\,186,5 \text{ N}} \quad (17)$$

$$F_{zat} = (F_a + F_g) * k_m + (4 * F_t) = (825 + 16\,186,5) * 1,3 + (4 * 60,81) = \underline{22\,358,19 \text{ N}} \quad (18)$$

### 3.3. Varianta A

Na zdvihacím rámu je uchycen domek matice kuličkového šroubu. Ložiska kuličkového šroubu jsou uchyceny v domečku na nosném rámu společně s pohonem kuličkového šroubu. Brzdění zdvihu v krajních polohách je dosaženo elektromagnetickou brzdou. Kuličkový šroub, respektive jeho pohon je zatížen silou  $F_{zat}$ , tření v matici, ložiscích a moment setrvačnosti šroubu a motoru s převodovkou jsou zatím zanedbány.

Hodnoty zdvihu matice kuličkového šroubu, její zrychlení a max. rychlost pohybu je totožná s hodnotami zdvihacího rámu.



Obrázek 27. Varianta A - pohon zdviže na přímo kuličkovým šroubem

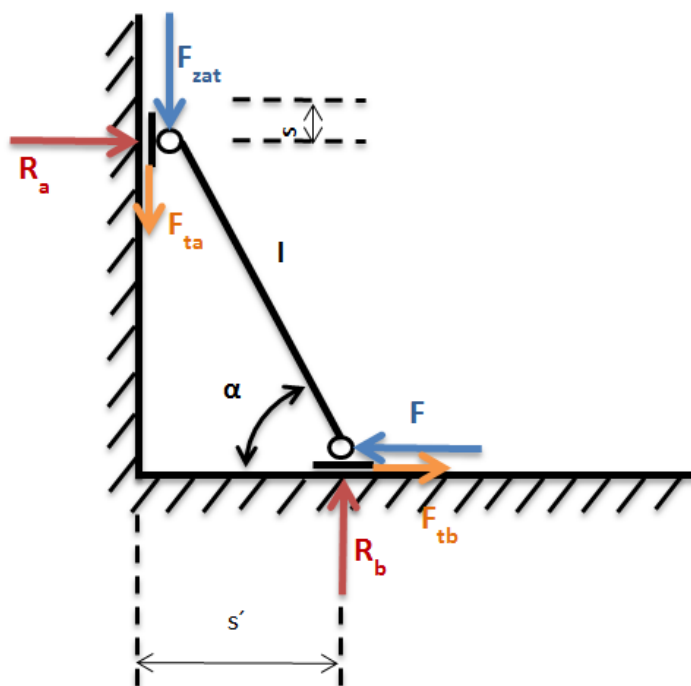
$$F = F_{zat} = \underline{22\,358,19N} \quad (19)$$

### 3.4. Varianta B

Na zdvihacím rámu je otočně umístěna páka délky  $l$ , jejíž druhý konec je zapřen o nosný rám. Posuv páky na nosném rámu je pro snížení třecí síly  $F_{tb}$  řešen válivým vedením. O posuv spodního konce páky se stará např. kuličkový šroub. Pohyb je řešen v nejnepříznivějším okamžiku tj. nejvíce „položené“ páce pod úhlem  $\alpha$ . Aretace horní polohy zdviže je docílena vzepržením páky do svislé polohy, respektive její mírné přejetí a opření o doraz.

Síla působící proti kuličkovému šroubu je přímo úměrná výše vypočtené síle  $F_{zat}$ , třecí síla  $F_{tb}$  je minimální s porovnáním k síle  $F_{zat}$  díky válivému vedení. Třecí sílu v lineárním vedení je potřeba navýšit o složku  $F_{ta}$  vzniklou působením sil  $F_{zat}$  a  $F$  na páku.

Spodní konec páky se pohybuje rychlostí  $v'$  zrychlením  $a'$  po dráze  $s'$ .



Obrázek 28. Varianta B - pohon zdviže s pákou

• Zatěžující síla	$F_{zat} =$	22 358,19N
• Zdvih	$s =$	0,05m
• Zrychlení	$a =$	$0,5\text{m/s}^2$
• Rychlost	$v =$	0,1m/s
• Délka páky	$l =$	0,35m

Max. sklon páky :

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{l-s}{s} = \sin^{-1} \frac{0,35 - 0,05}{0,35} = \underline{59^\circ} \quad (20)$$

Dráha pohybu spodního konce páky:

$$s' = \cos \alpha * l = \cos 59^\circ * 0,35 = \underline{0,18\text{m}} \quad (21)$$

Rychlost pohybu:

$$v' = \frac{s' * 60\%}{s * 60\%} * v = \frac{0,18 * 60\%}{0,05 * 60\%} * 0,1 = \underline{0,36\text{m/s}} \quad (22)$$

Zrychlení:

$$a' = \frac{v'^2}{2 * s' * 20\%} = \frac{0,36^2}{2 * 0,18 * 20\%} = \underline{1,8 \text{ m/s}^2} \quad (23)$$

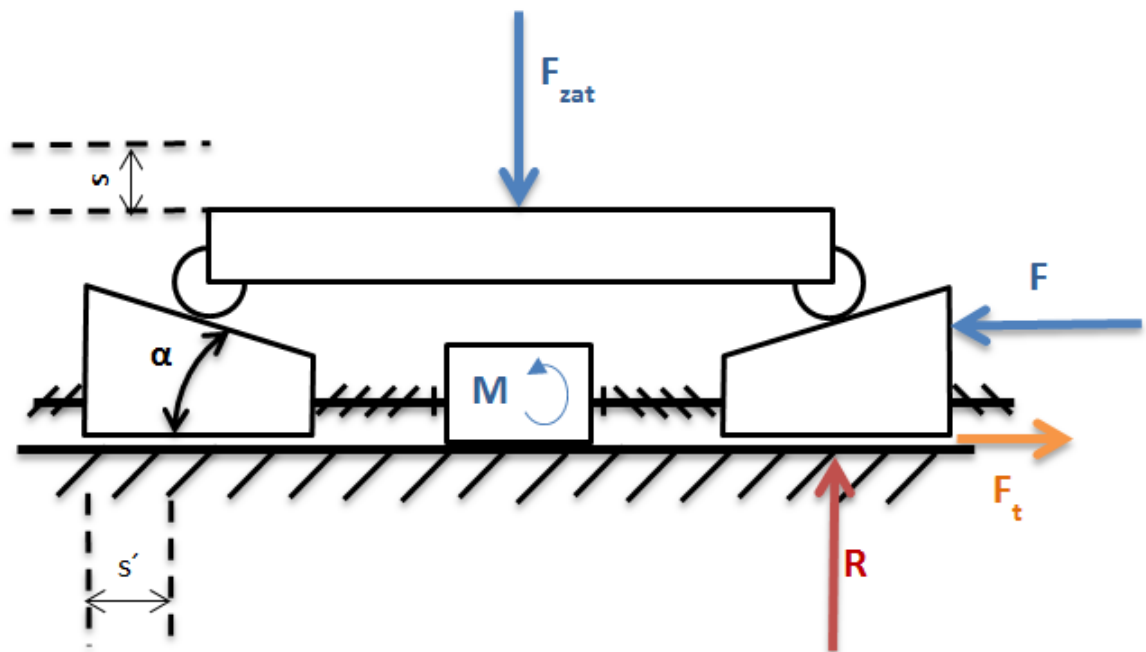
Síla potřebná k pohnutí páky:

$$F = \frac{F_{zat}}{\tan \alpha} = \frac{22\,358,19}{\tan 59^\circ} = \underline{13\,434,16 \text{ N}} \quad (24)$$

### 3.5. Varianta C

Spodní část zdvihacího rámu je opatřena po stranách kladkami, které se odvalují po dvou klínech. Ve spodní části klínů jsou matice kuličkových šroubů, jedna s pravým a druhá s levým stoupáním. Kuličkové šrouby jsou vprostřed přes spojky propojeny s úhlovou převodovkou, na jejímž vstupu je pohon. Bude-li třeba je mezi úhlovou převodovkou a pohon vložena ještě převodovka. Zatěžující síla se rovnoměrně rozloží na oba klíny, kde vyvoluje při pohybu třecí sílu  $F_t$  která je minimalizována válivým vedením.

Kladky ležící s max. zátěží na klínech působí stále silou, která roztahuje klíny od sebe a zatěžují tak zbytečně závit kuličkového šroubu a matice. Horní a spodní plocha klínu bude proto doplněna o plochy, na které kladky najedou a budou působit pouze svislou zátěží, která nebude zatěžovat závit šroubu. Přechod z vodorovné plochy na klínovou bude opatřen rádiusem pro hladší najetí a sjetí kladek. Vodorovné plochy nahrazují brzdu zajišťující krajní polohy zdviže.



Obrázek 29 Varianta C - pohon zdviže dvěma klíny

• Zatěžující síla	$F_{zat} =$	22 358,19N
• Zdvih	$s =$	0,05m
• Zrychlení	$a =$	0,5m/s <sup>2</sup>
• Rychlost	$v =$	0,1m/s
• Úhel klínu	$\alpha =$	27°

Dráha klínu:

$$s' = \frac{s}{\tan \alpha} = \frac{0,05}{\tan 27^\circ} = \underline{0,098m} \quad (25)$$

Rychlost pohybu klínu:

$$v' = \frac{v}{\tan \alpha} = \frac{0,1}{\tan 27^\circ} = \underline{0,196m/s} \quad (26)$$

Zrychlení klínu:

$$a' = \frac{v'^2}{2 * s' * 20\%} = \frac{0,196^2}{2 * 0,098 * 20\%} = \underline{0,98 m/s^2} \quad (27)$$

Síla k pohnutí jedním klínem:

$$F = \frac{1}{2} F_{zat} * \tan \alpha = \frac{1}{2} * 22\,358,19 * \tan 27^\circ = \underline{5\,696,03N} \quad (28)$$

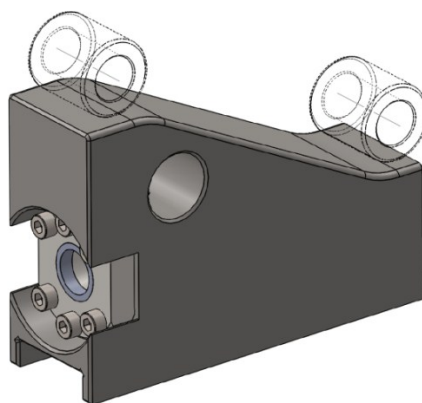
Protože jsou klíny dva bude pohon překonávat sílu dvounásobnou tzn.:

$$F = F_{zat} * \tan \alpha = 22\,358,19 * \tan 27^\circ = \underline{11\,392,07N} \quad (29)$$

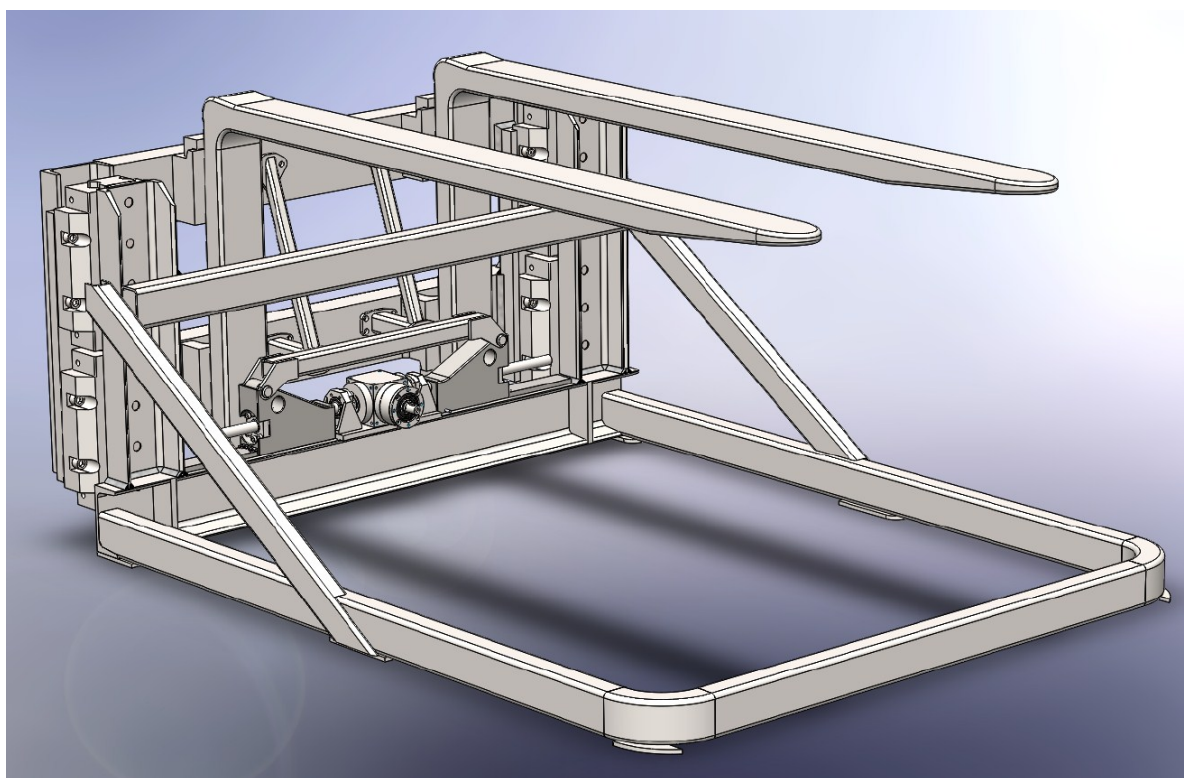
### 3.6. Výběr varianty zdvihacího mechanismu

Z navržených řešení zdvihacího mechanismu jsem podle předběžných výsledků vybral variantu C. I když výpočty byly předběžné a nebylo v nich zahrnuto tření, hybnost pohyblivých součástí a moment setrvačnosti všech prvků uvažuji, že tohle řešení bude vyžadovat motor s nejmenším kroutícím momentem.

Zdvihací rám je doplněn o ramena držící kladky odvalující se po klínech. Nosný rám pak o držák úhlové převodovky a dosedací plochy lineárních ložisek, na kterých jezdí zdvihací klíny.



Obrázek 30. Zdvihací klín s kuličkovou maticí



Obrázek 31. Celkový pohled

## 4. Návrh zdvihacího mechanismu

### 4.1. Návrh pohybového šroubu a matice

Pro návrh pohybového šroubu je potřeba znát zatížení a provozní otáčky šroubu. Silové zatížení je rovno síle potřebné k pohnutí jedním klínem. Po domodelování je celková zdvihaná hmotnost **1632Kg**. V předběžných výpočtech bylo počítáno s hmotností **1650Kg**. Nadále budou proto použity výsledky z předběžných výpočtů.

- |                           |             |                       |
|---------------------------|-------------|-----------------------|
| • Zatěžující síla         | $F_{zat} =$ | 22 358,19N            |
| • Zrychlení klínu         | $a_{kl} =$  | 0,98 m/s <sup>2</sup> |
| • Rychlost pohybu klínu   | $v' =$      | 0,196m/s              |
| • Hmotnost klínu + matice | $m_{kl} =$  | 2,8Kg                 |

Síla potřebná k pohnutí jedním klínem:

$$F_{kl1} = \frac{1}{2} F_{zat} * \tan a + m_{kl} * a_{kl} = \frac{1}{2} * 22\,358,19 * \tan 27^\circ + 2,8 * 0,98$$

$$= \underline{5\,698,77N} \quad (30)$$

Provozní otáčky šroubu:

Předběžně je počítáno s šroubem se stoupáním **P=5mm**.

$$n_{pr} = \frac{v' * 60}{P} = \frac{0,196 * 60}{0,005} = \underline{2\,352\,min^{-1}} \quad (31)$$

Podle vypočtených hodnot je z katalogu fy. HIWIN navržen šroub **R1605-FSI-350-X-0** a matice **R16-05T3-FSIDIN** s těmito parametry. [13], :

• Velký pr. šroubu	$d_s =$	15,50 mm
• Malý pr. šroubu	$d_k =$	12,90 mm
• Výška matice	$L =$	40,00mm
• Stoupání	$P =$	5,00 mm
• Dynamické zatížení	$C_{dynsr} =$	7 320 N
• Statické zatížení	$C_{0sr} =$	12 470 N
• Délka šroubu	$l_d =$	300mm

Koeficienty uložení  $k_d$  a  $k_k$  je určen z umístění ložisek na šroubu dle katalogu.

• Koeficienty uložení	$k_d =$	0,42[-]
• Koeficienty uložení	$k_k =$	0,26[-]

Kontrola kuličkového šroubu bude provedena dle katalogu výrobce.

Kontrola maximálních otáček:

$$n_{max} = k_d * \frac{d_k}{l_d^2} * 10^8 * 0,8 = 0,42 * \frac{12,9}{300^2} * 10^8 * 0,8 = \underline{4\,816\,ot/min} \quad (32)$$

$$n_{max} < n_{pr} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola vzpěrné tuhosti:

$$F_{kmax} = k_k * \frac{d_k^4}{l_k^2} * 10^5 * 0,5 = 0,26 * \frac{12,9^4}{300^2} * 10^5 * 0,5 = \underline{13\,850\,973N} \quad (33)$$

$$F_{kmax} < F_{kl1} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Životnost v otáčkách:

$$L_{ot} = \left( \frac{C_{dysrn}}{F_{kl1}} \right)^3 * 10^6 = \left( \frac{7320}{5\,698,78} \right)^3 * 10^6 = \underline{1\,286\,880,41 \text{ min}^{-1}} \quad (34)$$

Životnost v provozních hodinách:

$$L_h = \left( \frac{C_{dysrn}}{F_{kl1}} \right)^3 * \frac{10^6}{n_{pr} * 60} = \left( \frac{7320}{6\,729,74} \right)^3 * \frac{10^6}{2352 * 60} = \underline{9,11 \text{ hod}} \quad (35)$$

Výpočet hnacího kroutícího momentu:

$$M_{hn1} = \frac{F_{kl1} * P}{2 * \pi * \eta} = \frac{5\,698,77 * 0,005}{2 * \pi * 0,88} = \underline{10,31 \text{ Nm}} \quad (36)$$

## 4.2. Návrh úhlové převodovky

K pohonu obou kuličkových šroubů bude použit jeden pohon, čehož dosáhneme použitím úhlové převodovky s jednou vstupní a dvěma výstupními hřídelemi. [14]

Byla vybrána úhlová převodovka **AT065-H** fy. Apex dynamics, inc. s těmito parametry:

• Výstupní moment		24Nm
• Max. otáčky		7500ot/min
• Moment setrvačnosti		$0,44 * 10^{-2} \text{ Kg} * \text{m}^2$
• Počet stupňů		1[-]
• Převodový poměr	$i_2 =$	2[-]
• Účinnost	$\eta_2 =$	98%

Převodovka má vstupní hřídel o průměru 13mm s drážkou pro pero, jako výstup má otvor o průměru 13 mm s drážkou pro pero. Kuličkové šrouby se s převodovkou propojí přes redukční pouzdro.

Hnací moment pro úhlovou převodovku:

$$M_{hn2} = \frac{M_{hn1}}{i_2 * \eta_2} = \frac{10,31}{2 * 0,98} = \underline{5,26 \text{ Nm}} \quad (37)$$

Vstupní otáčky pro úhlovou převodovku:

- Provozní otáčky šroubu  $n_{pr} = 2\,352 \text{ min}^{-1}$

$$n_2 = n_{pr} * i_2 = 2\,352 * 2 = \underline{4\,704 \text{ min}^{-1}} \quad (38)$$



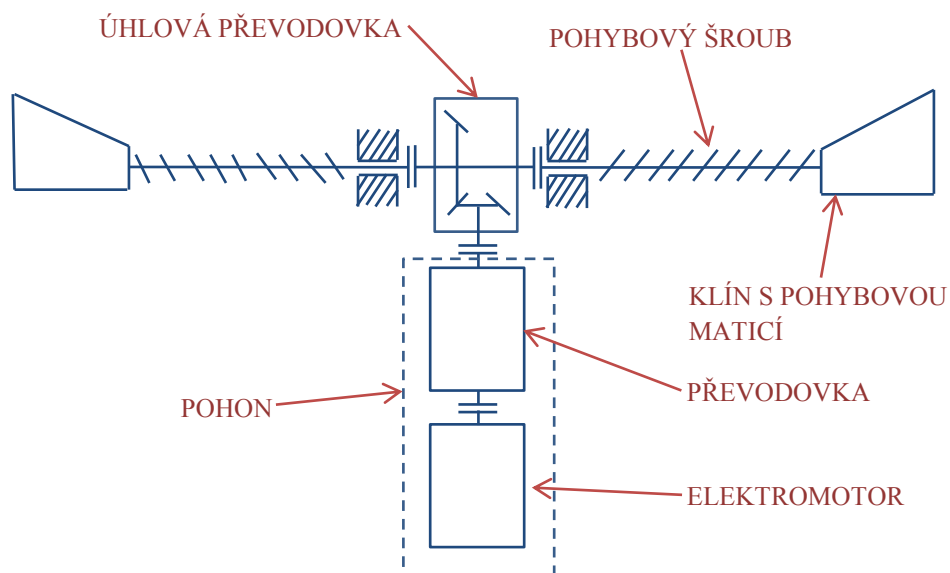
### 4.3. Parametry pohonu

Z výše uvedených a vypočtených parametrů pro pohon jsou zřejmé následující hodnoty:

- Napájení motoru 24V
- Hnací moment úhlové převod.  $M_{h2} =$  5,26Nm
- Hnací otáčky pro úhlovou převod.  $n_2 =$  4 704min<sup>-1</sup>

Dále je zapotřebí určit potřebný výkon pohonu a to podle vztahu:

$$P_m = \frac{2 * \pi * M_{hn2} * n_2}{60} = \frac{2 * \pi * 5,26 * 4\,704}{60} = \underline{2\,591,18W} \quad (39)$$



**Obrázek 32. Blokové schéma prvků mechanického převodu**

## 5. Závěr

V práci je popsán konstrukční návrh modulu mobilního robotu pro přepravu transportních palet se zdvihacím mechanismem. Analýzou dostupných technických prostředků byly ujasněny výhody a nevýhody jednotlivých řešení dané problematiky, které se uchytily na trhu.

Na základě analýzy doposud používaných válečkových dopravníků a přepravních palet byl vytvořen požadavkový list, upřesňující zadání a vymezující limitní hodnoty návrhu modulu včetně rozměrového návrhu představitele válečkového dopravníku.

Ze čtyř navrhovaných variant řešení odběru a nesení přepravní palety, byla na základě hodnotové analýzy vybrána varianta s obrácenými vidlicemi, která je z hlediska hmotnosti, jednoduchosti a variability nejvýhodnější.

Pro lepší orientaci a řešení, byla sestava modulu rozdělena na několik dílčích částí a to zdvihací část, nosnou část a pohonnou část. Jako nosné vidlice byly použity standartní obrácené nosné vidlice pro vysokozdvizné vozíky. Vidlice byly uchyceny na svařovaném zdvihacím rámu běžným způsobem a není je potřeba dále nijak upravovat. Pro svislý pohyb bylo použito lineárního vedení, které zaručuje přesný a hladký pohyb zdvihací části.

Pro přenos pohybu z pohonu na zdvihací část byla navržena tři řešení, u nichž byly stanoveny a vypočteny hlavní síly působící při zvedání zátěže. Z navrhovaných mechanismů byl vybrán převod s pomocí klínů, který pro svůj pohyb nejméně zatěžuje pohonnou jednotku.

Postupně byly navrhovány a propočítány jednotlivé komponenty důležité pro správný chod mechanismu.

V práci již není návrh pohonu a převodovky, analýza svarových konstrukcí pro zaručení pevnosti a popřípadě snížení hmotnosti.

Z rozpracovaného modelu je prozatím zřejmé, že modul nezabírá rovnoměrně předem vytyčený prostor na robotu. Volné místo v modulu lze využít např. pro instalaci pohonných akumulátorů, se kterými bylo prozatím uvažováno v podvozku. Nejlepších výsledků by se jistě dosáhlo řešením transportního robotu jako jediného celku. Lineární vedení by bylo možno prodloužit co nejvíce ke spodní části podvozku, k snížení momentu působícího na vozíky lineárního vedení. Počet potřebných akumulátorů navýšit a rozmístit je také v horní části robotu.

## 6. Použitá literatura

- [1] SOLUTIONS. *Kiva systems* [online]. [2014] [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: [HTTP://WWW.KIVASYSTEMS.COM/SOLUTIONS/](http://www.kivasystems.com/solutions/)
- [2] AGV TAHAČE. *CEIT Technical Innovation, s.r.o.* [online]. [2014] [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://ceittechinnovation.eu/index.php/sk/agv-system/agv-tahace?option=com\\_content&view=article&id=44](http://ceittechinnovation.eu/index.php/sk/agv-system/agv-tahace?option=com_content&view=article&id=44)
- [3] Automated Guided Vehicles. *CEIT Technical Innovation, s.r.o.* [online]. [2014] [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.bastiansolutions.com/automation/automated-guided-vehicles---agv>
- [4] Ward Systems builds AGV Systems. *WARD systems* [online]. [2014] [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: Ward Systems builds AGV Systems [5] Egemin automation: FLV - Fork Lift Vehicle AGV. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://www.egemin-automation.com/en/automation/material-handling-automation\\_ha-solutions\\_agv-systems\\_agv-types/forklift-agv](http://www.egemin-automation.com/en/automation/material-handling-automation_ha-solutions_agv-systems_agv-types/forklift-agv)
- [6] AutoFlow™ Mobile Robotics. *MMPEX systems* [online]. [2014] [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://www.mmpexsystems.com/autoflow\\_systems-automated\\_delivery\\_solutions.html](http://www.mmpexsystems.com/autoflow_systems-automated_delivery_solutions.html)
- [7] ADVANCED MOTION CONTROLS. *Industries & Applications* [online]. [2014] [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://www.a-m-c.com/successes/industry\\_highlight/material\\_handling/index.html](http://www.a-m-c.com/successes/industry_highlight/material_handling/index.html)
- [8] HOLCAPFL, Z. *Přesuvna europalet*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.
- [9] Paletizace. *Teramex* [online]. [2014] [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.teramex.cz/paletizacni-technika-paletizace>
- [10] Automatické vozíky pro každou aplikaci. *EK Automation* [online]. [2014] [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <http://www.ek-automation.com/cz/produkty/automaticky-rizeny-vozik/voziky/>
- [11] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [12] HIWIN. *Lineární vedení. Katalog výrobků*. ©2014. [vid. 2014]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni>
- [13] HIWIN. *Kuličkové šrouby. Katalog výrobků*. ©2014. [vid. 2014]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby>
- [14] APEX DYNAMICS. *AT Series. Katalog výrobků*. [vid. 2011.12]. Dostupné z: <http://www.apexdyna.com/download/catalog/AT-Eng.pdf>

## 7. Seznam příloh

- Výkres celkové sestavy
- Výkres podsestavy zdvihacího rámu
- Výkres podsestavy nosného rámu
- Výkres podsestavy pohybového klínu